

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ В РАСЧЕТАХ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТРУКТУР

Ю.А. Иларионов, Н.А. Новоселова

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

BESSEL FUNCTIONS IN CALCULATION OF WAVEGUIDE STRUCTURES

Yu.A. Ilarionov, N.A. Novoselova

Всё многообразие цилиндрических направляющих структур: круглые экранированные и открытые диэлектрические волноводы, спиральные линии, гофрированные и диафрагмированные волноводы, волоконные световоды, слоистые металл-диэлектрические волноводы, ферритовые цилиндрические волноводы, импедансные волноводы и волноводы с резистивными пленками описывается математическим аппаратом цилиндрических функций. Структуры с азимутальной симметрией описываются цилиндрическими функциями целого индекса, азимутально несимметричные – цилиндрическими функциями дробного индекса, структуры с волнами, бегущими в азимутальном направлении, описываются цилиндрическими функциями произвольного (в том числе комплексного) индекса. Для описания экранированных цилиндрических направляющих структур используются цилиндрические функции 1-го и 2-го рода, открытых – функции Ханкеля. Распространяющиеся и реактивно затухающие волны экранированных направляющих структур описываются цилиндрическими функциями действительного аргумента или чисто мнимого. Поверхностные волны могут описываться модифицированными функциями Бесселя и функциями Ханкеля мнимого аргумента. Все виды комплексных волн описываются цилиндрическими функциями комплексного аргумента, располагающегося в различных (в зависимости от вида комплексных волн) квадрантах плоскостей поперечных волновых чисел.

Многообразие цилиндрических направляющих структур и волн, направляемых ими, требует развития математического аппарата, ориентированного на проведение численных расчетов с использованием широкого спектра цилиндрических функций и их комбинаций. В докладе рассматриваются вопросы эффективного вычисления цилиндрических функций, получения для них рекуррентных соотношений и асимптотик, вопросы контроля точности решения трансцендентных уравнений, содержащих цилиндрические функции, и вычисления интегралов от комбинаций цилиндрических функций.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ СТУПЕНЧАТЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ

Н.И. Кузикова, А.В. Назаров, Г.И. Шишков, В.В. Щербаков

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

WIDEBAND COAXIAL STEP ATTENUATORS

N.I. Kuzikova, A.V. Nazarov, G.I. Shishkov, V.V. Scherbakov

В современных широкополосных ступенчатых аттенюаторах в качестве диссипативных элементов применяются ячейки-ослабители на основе тонкопленочных пластинчатых резисторов [1]. Ячейки-ослабители ступенчатых аттенюаторов практически представляют собой фиксированные аттенюаторы, выполненные в отрезках либо коаксиальных, либо полосковых линий передач.

Разработанные в начале 60-х годов прошлого столетия в ЦНИИ-11 г. Горького (в дальнейшем – Нижегородский НИПИ «Кварц») широкополосные высокоточные коаксиальные фиксированные аттенюаторы, работающие в диапазоне от постоянного тока до частот, близких к критическим для используемой коаксиальной линии, обладают равномерной амплитудно-частотной характеристикой и высокой степенью согласования.

В НИПИ «Кварц» был разработан ряд широкополосных ступенчатых аттенюаторов, предназначенных для промышленного производства. Для ступенчатых аттенюаторов традиционной является конструкция барабанного типа. Ее основные элементы: статор с высокочастотными разъемами (вход, выход); ротор со сквозными цилиндрическими отверстиями, параллельными оси вращения ротора; ячейки-ослабители, размещенные в отверстиях ротора; контактные устройства для обеспечения неразрывности коаксиального тракта между статором и ячейками-ослабителями; устройство переключения ротора и отсчета величины вносимого ослабления.

Одна из разработанных моделей ступенчатого аттенюатора барабанного типа в диапазоне от постоянного тока до 10 ГГц имеет ослабление от нуля до 50 дБ ступенями в 10 дБ. Погрешность ослабления не превышает $\pm 1,5$ дБ, величина КСВН составляет не более 1,5. Аттенюатор имеет габаритные размеры 63×112 мм, коаксиальные разъемы (вход, выход) сечением 7/3,04 мм.

В малогабаритной конструкции ступенчатого аттенюатора барабанного типа пластинчатые резисторы включаются в разрыв экранированных несимметричных полосковых линий и своими основаниями (подложками) находятся непосредственно на металлической поверхности ротора [2]. Габаритные размеры аттенюатора составляют 36×45×57 мм, сечение высокочастотных разъемов 3,5/1,52 мм. В диапазоне рабочих частот от нуля до 6 ГГц ослабление изменяется в пределах 0-70 дБ ступенями в 10 дБ, погрешность ослабления – не более $\pm 1,5$ дБ, величина КСВН $\leq 1,5$.

Для большинства ступенчатых аттенюаторов барабанного типа допустимая входная мощность сигнала не превышает 1 Вт.

Использование ячеек-ослабителей с пластинчатыми резисторами на базе полосковых линий [2-4] и применение так называемых «накладных» полосковых контактов позволило разработать конструкции сверхширокополосных ступенчатых аттенюаторов с большим ослаблением.

С помощью «накладных» контактов в виде ленточных гибких проводников в волноводном тракте аттенюатора создается либо канал «нулевого» ослабления, либо канал требуемого ослабления (в зависимости от величины ослабления установленных резисторов).

В четырехсекционном ступенчатом аттенюаторе модели 1068 пластинчатые резисторы расположены на внутренней стороне крышки корпуса аттенюатора с находящимися на ней высокочастотными разъемами (вход, выход). Переключение секций осуществляется электромагнитами, размещенными в корпусе аттенюатора, с помощью диэлектрических толкателей. Аттенюатор имеет ослабление от нуля до 110 дБ ступенями в 10 дБ (схема включения: 10+20+40+40 дБ) в диапазоне частот от постоянного тока до 18 ГГц. Начальное ослабление (на «нулевом» канале) равно 2,8 дБ, погрешность ослабления – не более 3 дБ, величина КСВН не превышает 1,8. Габаритные размеры аттенюатора составляют 110×56×26 мм, высокочастотные разъемы имеют сечение 3,5/1,52 мм.

Однотипный по конструкции аттенюатор модели 1048 в диапазоне от постоянного тока до 37,5 ГГц имеет ослабление от нуля до 35 дБ ступенями в 5 дБ, начальное ослабление 3 дБ, погрешность ослабления 2,5 дБ, величину КСВН не более 2,2, высокочастотные разъемы сечением 2,4/1,04 мм.

Аттенюаторы моделей 1068 и 1048 допускают уровень входного сигнала до 0,2 Вт.

Имеются ступенчатые аттенюаторы, аналогичные указанным моделям, с ручным управлением.

В коаксиальных ступенчатых аттенюаторах, основу которых составляют ячейки-ослабители с пластинчатыми резисторами, в качестве переключающих устройств возможно

применение $p-i-n$ -диодов. Это позволяет избавиться от сложных механических устройств переключения, повысить надежность аттенуаторов. Однако по техническим характеристикам (меньшему диапазону рабочих частот, высоким начальным потерям, большой погрешности ослабления, высокому КСВН на входе и выходе) такие ступенчатые аттенуаторы уступают аттенуаторам с механическим переключением.

Например, аттенуатор модели 1095 в диапазоне частот от 2,0 ГГц до 8,15 ГГц имеет: ослабление 0-110 дБ ступенями в 10 дБ, начальные потери (на «нулевом» канале ослабления) 6,0 дБ, погрешность ослабления $\pm 1,9$ дБ, величину КСВН $\leq 2,0$.

Литература

1. Шишков Г.И. Широкополосные коаксиальные аттенуаторы // Антенны. 2004. Вып. 1 (80). С. 18-21.
2. А.С. 240789 (СССР). Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов // Б.И. № 13. 1969.
3. А.С. 866617 (СССР). Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев // Б.И. № 35. 1981.
4. А.С. 327866 (СССР). Ступенчатый аттенуатор / В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев, В.И. Моталин, И.М. Рубцов, Г.И. Шишков // Б.И. № 16. 1972.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР С ТОНКИМИ РЕЗИСТИВНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Н.А. Новоселова¹, Р.Г. Рудоясова¹, А.Ю. Седakov²

¹Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru;

²Нижний Новгород, ФГУП ФНИИЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седаква», niis@niis.nnov.ru)

MATHEMATICAL MODELING OF WAVEGUIDE STRUCTURES WITH THIN RESISTIVE FILMS

N.A. Novoselova, R.G. Rudoyasova, A.Yu. Sedakov

Задачи о волноводах с тонкими резистивными пленками решаются как правило, методом поверхностного тока (МПТ), который отличается от обычного МЧО введением разрывных граничных условий для магнитного поля в месте расположения резистивных пленок.

Расчет направляющих структур сводится, как правило, к решению различных краевых электродинамических задач, особенности которых определяются спецификой рассматриваемых структур. Одним из важнейших вопросов, возникающих при постановке и решении краевых задач электродинамики, является определение типа оператора, соответствующего рассматриваемой задаче. В понятие электродинамического оператора входят дифференциальное уравнение и система граничных условий, конкретизирующих особенности электромагнитных процессов, описываемых уравнением. Операторы подразделяются на самосопряженные и несамопряженные. Решение вопроса: к какому типу относится оператор, соответствующий рассматриваемой краевой задаче, является основополагающим фактором, определяющим спектр решений краевой задачи, то есть спектр волн направляющей структуры.

Направляющие структуры с резистивными пленками являются диссипативными. В том случае, когда направляющая структура образуется средами с комплексными ϵ и μ , краевые задачи являются заведомо несамопряженными ввиду невыполнения первого условия самопряженности – тождественности дифференциальных уравнений прямой и сопряженной задач. Собственные значения краевых задач для направляющих структур, содержащих дис-